

橋梁の温度環境を利用した Thermal Energy Harvester(TEH)の開発

山梨大学大学院 学生会員 ○小森 誠太, 東京工業大学 正会員 竹谷 晃一
山梨大学 正会員 吉田 純司

1. はじめに

近年, 橋梁ヘルスマニタリングに用いるMEMSセンサなどの小型電子機器の低消費電力化に伴い, 身の回りにある振動・光・熱・電磁波などの環境エネルギーを利用したエネルギーハーベスティングが注目されている。橋梁環境では振動発電¹⁾や太陽光発電が注目されたが, 交通量に依存することや設置位置の制約があることが課題として挙げられている。一方, 橋梁は体積が大きいため太陽光からの熱エネルギーを内部に蓄積しており, かつ風を受けやすい環境のため表面の放熱量が大きいと考えられる。

そこで本研究では温度差を電気に変換する温度差発電に着目した。温度差発電装置(Thermal Energy Harvester: TEH)は図-1のように発電部の熱電素子と放熱部のヒートシンクで構成されており, 工場排熱などの高い温度で用いられている²⁾。しかし, 橋梁の温度環境に生じる温度差は数℃程度であり, 発電を行うためには発電部と放熱部を高効率にすることが重要である。本研究では, 橋梁環境において高効率で発電できるTEHの開発を目的とし, 発電量の高い発電部の検討と熱変換効率の高い放熱部の検討を行った。その上で, 開発したTEHを橋梁に設置し適用性の検証を行った。

2. 実橋梁での温度環境の把握

(a) 対象橋梁と概要

対象橋梁は山梨県甲府市に位置するRC床版鋼I桁形式の道路橋である。対象橋梁の外観を図-2に示す。図-3は実際に部材温度と気温を計測する位置を示している。今回は外側のRC床版と下フランジ, 内側のRC床版と下フランジの4か所にセンサを設置し, その部材の周辺に気温の計測を行うセンサを設置した。

(b) 橋梁部材と外気温の関係

図-4は外側下フランジの温度と気温の時刻歴を示している。その温度差に着目すると, 外側下フランジでは日中に温度差が高くなっており, 夜間は低くなっていることが分かる。下フランジは比熱が高い鋼材で出

来ているため, 部材温度と気温が同じ温度になる傾向がある。しかし, 外側下フランジは日中に太陽光が直接当たっているため日中の温度差が高くなっていると考えられる。

3. Thermal Energy Harvester(TEH)の開発

(a) 発電部

高効率なTEHを開発するために発電部となる熱電素子の発電特性実験を行った。実験に用いた装置の模式図を図-5に示す。4種類の熱電素子の中から最も発電量の高いものをTEHの発電部として採用した。評価に用いた最大発電量は温度差 ΔT_0 の関数として次式のように定式化した。

$$W=0.25\alpha^{-1}\Delta T_0^2(-\gamma\Delta T_0+\delta)^2 \quad (1)$$

実験より $\alpha = 3.2 [\Omega]$, $\gamma = 0.417 [\text{mV}/\text{K}^2]$, $\delta = 54.51 [\text{mV}/\text{K}]$ であった。

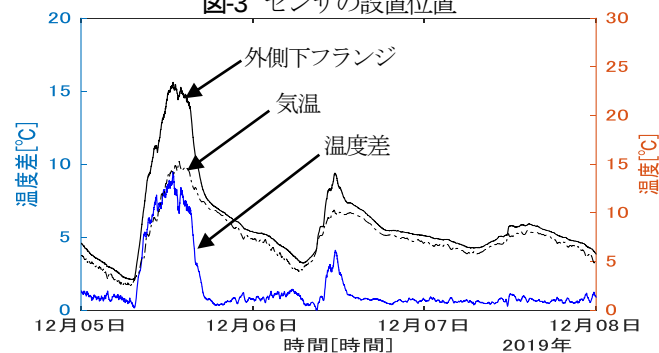
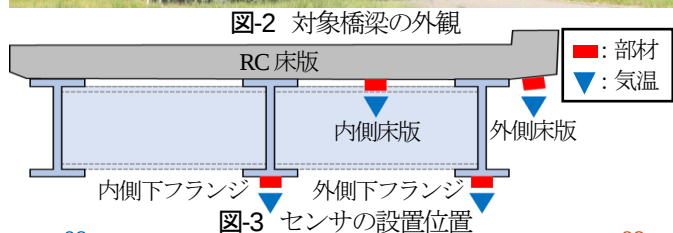
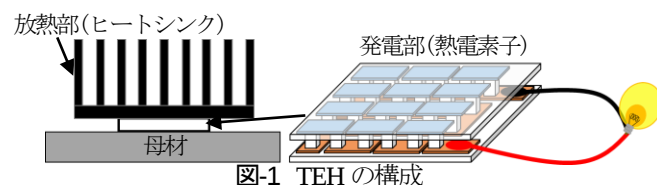


図-4 外側下フランジの温度と外気温の関係図

キーワード 橋梁, 温度環境, Thermal Energy Harvester, エネルギーハーベスティング, 温度差発電

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部 TEL: 055-220-8521 E-mail: jyoshida@yamanashi.ac.jp

(b) 放熱部

5種類のヒートシンク(100mm×100mm)を用いて熱変換効率 p を比較した. ヒートシンクの特徴を表-1に示す. また, 実験に用いたヒートシンクのタイプを図-6に示す. p は発電部の温度差 ΔT_0 と母材温度と気温の温度差 ΔT_1 を用いて次式で定義している.

$$p = \frac{\Delta T_0}{\Delta T_1}$$

(2)

また, ヒートシンクのコアプレートに高さのある銅板を用いることで母材からヒートシンクの伝達する放射熱を低減させる構造を考えた. 比較した中から最も効率の高かったP-7-40を選定し, 風速実験を行った結果, p は次式のように定式化することができる.

$$p = \varphi v + \tau$$

(3)

φ と τ は風速 v の範囲によって表-2のように変化する.

4. 実橋梁における適用性の検証

開発したTEHの構造を図-7に示す. 磁石を用いることで着脱可能になっており, コンクリート部材には鋼板を用いることで磁石に対応している. 図-8は実際に実橋梁に設置した様子である.

図-9は2019年12月5日から18日の2週間における外側下フランジの1時間毎の平均発電量の分布である. 縦棒は実測値であり, 上が最大値, 下が最小値, 丸が平均値を表している. 推定値は式(1)(2)(3)を用いた値を示しており, 加速度計ADXL372のトリガーモードはトリガーに達した時だけに計測する消費電力を示している. TEH1台で加速度計ADXL372の消費電力を十分に補える発電量があることを示した.

5. まとめ

本研究では, 橋梁の温度環境において高効率で発電できるThermal Energy Harvester(TEH)の開発を目的とし, 発電部の検討と放熱部の検討を行った. その後, 開発した高効率なTEHを実橋梁に設置して計測実験を行った結果, 外側下フランジで加速度計ADXL372の消費電力を1台で十分に補えることを示した. 高効率な昇圧回路を用いて発電電圧を昇圧することができれば長期的な電源確保が可能となる.

【参考文献】

[1] 竹谷晃一, 佐々木栄一, 岩吹啓史, 長船寿一, 洞宏一, 名児耶武: 橋梁振動を対象とした同調質量系発電デバイスの開発と実橋梁への適用, 土木学会論文集A1, Vol.72, pp.290-301, 2016.

[2] 和田英男, 芳賀洋: 発電排熱を利用した熱電発電システムの研究, 日本熱電学会誌, 第14巻, 第3号, pp126-131, 2018.

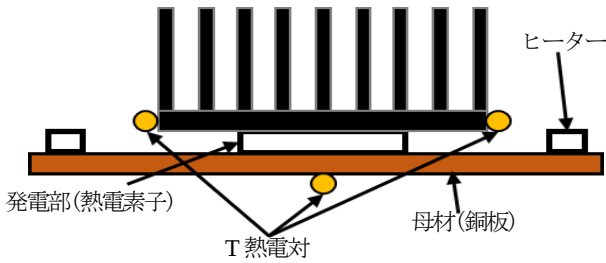


図-5 実験装置の模式図

表-1 ヒートシンクの特徴

名前	タイプ	ピンの高さ	ピンの間隔
PF-3-20	ピンフィン	20mm	3mm
PF-3-40	ピンフィン	40mm	3mm
PF-4-40	ピンフィン	40mm	4mm
P-2-40	ピン	40mm	2mm
P-7-40	ピン	40mm	7mm

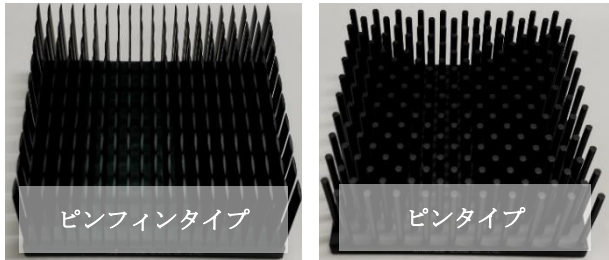


図-6 実験に用いたヒートシンクのタイプ

表-2 φ と τ の値

風速範囲	φ	τ
0.0m/s から 1.0m/s	0.1796	0.4471
1.0m/s から 2.8m/s	0.0437	0.5829

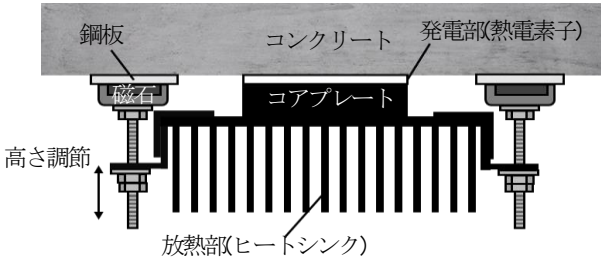


図-7 TEHの模式図

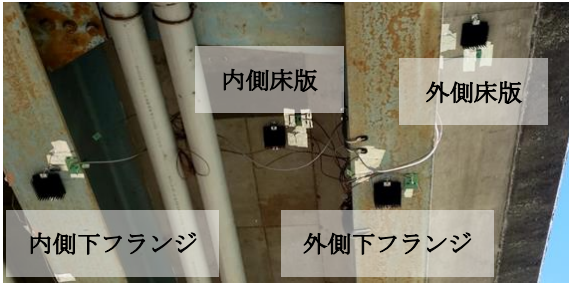


図-8 実際に設置した様子

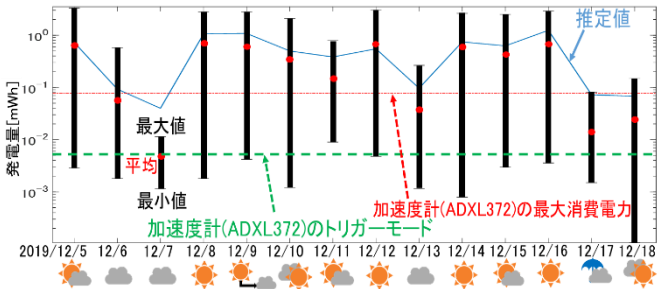


図-9 外側下フランジの1時間毎の平均発電量の分布